36e ANNEE (4e SÉRIE) N° 23 4 JUIN 1914

L'AMI DU CLERGÉ

Paraît à Langres, tous les Jeudis

Mgr F. PERRIOT
Protonotaire apostolique *ad instar participantium*
FONDATEUR

A. ROZIER
Docteur en théologie, Chanoine honoraire de Langres
DIRECTEUR

PRIX D'ABONNEMENT POUR TOUT L'UNIVERS........ 15 francs à l'Édition complète.
10 — à l'Édition partielle.

Toutes les lettres doivent être adressées à : M. le Directeur de L'AMI DU CLERGÉ, à Langres (Hte-Marne).

PETITE CAUSERIE SCIENTIFIQUE

SUR L'AIR LIQUIDE

I. Sa préparation. — Historique : de la théorie à la pratique. — Les principes : quelques souvenirs de physique élémentaire. — Production de l'air liquide : une grande industrie nouvelle. — Séparation de l'oxygène et de l'azote : une distillation originale.

II. Ses propriétés. — Propriétés physiques : un bouquet de paradoxes. — Propriétés chimiques. — Conservation de l'air liquide : un gros problème élégamment résolu.

III. Ses applications. — L'air liquide brut. — L'azote. — L'oxygène : — en métallurgie ; — dans l'éclairage ; — dans les industries chimiques ; — dans l'industrie frigorifique ; — en thérapeutique et en hygiène.

§ 1er. — *Préparation de l'air liquide*

Historique. — Si l'air liquide est une des plus étonnantes conquêtes de la physique moderne, si c'est d'hier seulement que l'on a découvert et sa préparation et ses propriétés et ses innombrables applications, si enfin ce dernier chapitre s'accroît tous les jours et donne sans cesse naissance à des brevets nouveaux, les notions théoriques sur lesquelles reposent toutes ces opérations sont déjà anciennes dans la science et s'y trouvent formulées depuis longtemps. Il y a là une preuve très impressionnante des rapports étroits entre la théorie et la pratique, ces deux termes que l'on se plaît parfois à opposer. C'est la théorie qui a conduit les chercheurs, et l'un des principaux, M. Georges Claude, le répète à plusieurs reprises pour ce qui est de lui dans son livre capital : *Air liquide, Oxygène, Azote* [1], le seul travail d'ensemble que nous possédions à l'heure actuelle en France sur la question.

Avec une puissance d'intuition et un sens presque prophétique qui sont l'apanage des grands génies, le fondateur de la chimie moderne, l'illustre Lavoisier, sur qui la Révolution fit bien voir qu'elle « n'avait pas besoin de savants », n'hésitait pas à écrire ces lignes étonnantes : « Si la Terre se trouvait tout à coup placée dans les régions très froides, par exemple de Jupiter ou de Saturne, l'eau qui forme aujourd'hui nos fleuves et nos mers, et, probablement, le plus grand nombre des liquides que nous connaissons, se transformeraient en montagnes solides et en roches très dures. L'air, dans cette supposition, ou au moins une partie des substances aériformes qui le composent, cesserait sans doute d'exister dans l'état de fluide invisible, faute d'un degré de chaleur suffisant : il reviendrait à l'état de liquidité, et ce changement produirait de nouveaux liquides dont nous n'avons aucune idée. [1] »

Et pourtant, à cette époque, aucun des gaz les plus liquéfiables n'avait encore été vu par les chimistes à l'état liquide. Cela ne devait pas tarder cependant, puisqu'en 1792 Van Marum, en comprimant à l'aide d'une pompe du gaz ammoniac, obtenait, à sa grande surprise d'ailleurs, quelques gouttes de ce corps à l'état liquide. Trente ans plus tard, un des plus grands physiciens du XIXe siècle, Michel Faraday, obtenait, non moins fortuitement, la liquéfaction de l'hydrate de chlore, puis, une fois mis sur la voie, en cette même année 1823, celle de l'hydrogène sulfureux, de l'acide sulfureux, du protoxyde d'azote, du cyanogène et de l'acide carbonique. Ainsi les esprits profonds tirent la plupart du temps leurs plus belles découvertes d'une circonstance fortuite. On dirait que la chance les poursuit malgré eux, si la vérité n'était pas au contraire qu'ils la contraignent et la créent. Au cours d'une expérience sur l'hydrate de chlore, Faraday aperçoit une buée à l'intérieur de son tube de verre. Un expérimentateur ordinaire eût négligé ce détail et passé, comme nous passons tous et sans doute plusieurs fois dans un jour, devant la vérité scientifique à découvrir. Faraday pressent la trouvaille, réfléchit, expérimente. Est-ce là de la chance ? Et, si c'en est, serons-nous surpris qu'elle évite les esprits superficiels ? Faraday continua ses recherches. Mais à tous ses efforts, cinq d'entre les gaz auxquels il s'attaqua résistèrent obstinément. Même à la pression de 50 atmosphères et à la température de 110° au-dessous de zéro, il ne put liquéfier ni l'hydrogène, ni l'oxygène, ni l'azote, ni l'oxyde de carbone, ni le méthane, les trois premiers, des corps simples, les deux autres,

[1] In-8 de 400 p., 15 f., Paris, Dunod et Pinat, 1909.

[1] Cité par G. Claude, p. 8.

des composés du carbone. Plus tard on utilise des pressions de plus en plus grandes, qui atteignent avec Natterer jusqu'au chiffre prodigieux de 2.800 atmosphères, et les cinq gaz résistent toujours. On les appelle désormais des « gaz permanents » et on leur ajoute bientôt les nouveaux éléments de notre atmosphère : hélium, néon, argon, krypton, xénon, sans compter le fluor. La notion des gaz permanents semblait donc définitivement établie et entrée dans les certitudes de la chimie.

Mais les certitudes de la science sont si souvent provisoires ! Ce fut le cas. Le 24 décembre 1877, l'Académie des sciences apprit que deux expérimentateurs qui s'ignoraient l'un l'autre, venaient, par des procédés différents, de liquéfier simultanément quatre au moins de ces gaz permanents. Il y a de ces coïncidences dans l'histoire des découvertes, et l'on peut même dire qu'elles sont assez fréquentes. Tant il est vrai que ce n'est pas une vaine expression de dire qu'une idée est dans l'air. L'un des expérimentateurs était notre compatriote M. Louis Cailletet[1], l'autre, un physicien genevois, M. Raoul Pictet. L'état de la question était dès lors celui qu'exposait Jamin à cette même séance de l'Académie :

« La possibilité de liquéfier ou de solidifier l'oxygène est maintenant démontrée. Les deux expériences se valent ; celle de M. Pictet ajoute peu à celle de M. Cailletet, car, si le premier annonce avoir vu l'oxygène se précipiter à l'état liquide, tout semble indiquer qu'il n'en a eu qu'une vue très fugitive ; et, d'autre part, le brouillard constaté par M. Cailletet au moment de la détente montre que l'oxygène a cessé d'être transparent, c'est-à-dire gazeux, et qu'il est devenu solide ou liquide. Avoir vu le liquide ou le brouillard sans avoir pu recueillir l'un ou l'autre, c'est tout un. L'expérience définitive est encore à faire. Elle consistera à maintenir l'oxygène liquide à la température de son point d'ébullition, comme on le fait pour le protoxyde d'azote, ou à l'état solide, comme l'acide carbonique se conservant à cet état à cause de l'énorme chaleur latente que la gazéification exige. »

De fait, les expériences furent reprises, et le 9 avril 1883, on voyait pour la première fois, — c'étaient deux savants polonais, Olszewski et Wroblewski, — l'oxygène, le gaz que nous respirons, transformé en un liquide incolore, tout à fait semblable à l'eau. Mais c'est en 1895 seulement que la liquéfaction de l'air sortit du laboratoire pour entrer dans le domaine industriel. A cette date, le Dr Carl Linde, professeur à l'Ecole polytechnique de Munich, construisait le premier appareil capable de fournir le nouveau liquide en quantités sérieuses. Ses appareils peuvent produire 50 litres à l'heure, ce qui est un fort joli rendement. Vers 1896, le savant français G. Claude reprenait à son tour le problème. Tout d'abord, c'était en vue d'une fabrication plus économique du carbure de calcium qu'il voulait se consacrer « à la mise en exploitation de cette mine incomparable, l'atmosphère. » Et sa confiance dans le succès était telle qu'il pouvait écrire dans le *Cosmos* du 30 octobre 1897 : « Alors que l'oxygène nous entoure de toutes parts avec une telle abondance sous la forme de ce simple mélange que constitue l'air atmosphérique, il est absolument inadmissible qu'on n'arrive pas, tôt ou tard, à un procédé physique de séparation. » Et de fait, en 1903, Claude réalisait un progrès considérable en utilisant le travail de détente négligé jusqu'alors. Le rendement se trouvait triplé dans des conditions particulièrement économiques. Enfin, deux ans plus tard, le même savant imaginait un appareil rectificateur, grâce auquel il arrivait à séparer intégralement l'azote de l'oxygène. Cette fois le problème était parfaitement résolu : l'industrie n'avait plus qu'à se préoccuper des applications du produit nouveau.

N'est-il pas frappant de voir, au cours de ce bref historique, des savants si nombreux (et nous n'avons cité que les principaux), de nationalités diverses, concourir ainsi, parfois même simultanément, à une grande découverte ? C'est que la science est une œuvre collective. Chaque savant apporte sa pierre à l'édifice, comme dans ces constructions coralligènes des océans, où chaque individu travaille de son côté, accomplit sa tâche minuscule, ouvrier anonyme du vaste labeur d'où sortiront des barrages, des récifs et des îlots tout entiers. L'œuvre de chacun serait négligeable si elle était isolée. Ainsi en est-il ou peu s'en faut dans le labeur scientifique, et c'est de l'union de tous les efforts que naît le progrès. D'autre part, si jamais à aucune époque celui-ci n'a été aussi rapide que de nos jours, cela tient précisément aux facilités de la « concurrence », à la diffusion du savoir, à celle de la presse qui tient au courant des problèmes sans cesse renouvelés, enfin à l'organisation générale du travail scientifique.

Les principes. — C'est en appliquant un certain nombre de principes de la physique élémentaire que l'on est, en somme, parvenu aux très beaux résultats que nous venons d'indiquer, et c'est de même l'exposé de ces principes qui nous permettra de saisir pleinement les procédés de fabrication auxquels nous devons la liquéfaction de l'air.

Un premier fait est la tension que possèdent les corps à l'état gazeux. Une très simple expérience va nous démontrer l'existence de cette force élastique et nous faire comprendre en quoi elle consiste. Dans un tube de mercure retourné sur une cuvette, comme le baromètre de Torricelli, il reste, comme on sait, un espace vide séparant du sommet du tube les 760 millimètres du mercure. Introduisons dans cet espace vide, à l'aide d'une pipette recourbée, quelques gouttes d'un liquide quelconque. Ce liquide gagnera la surface du mercure, parvenu là s'évaporera dans le vide et fera baisser d'une certaine longueur le mercure dans le tube. Le gaz ainsi formé a donc développé une certaine force élastique capable de lutter contre la pression

[1] Né à Châtillon-sur-Seine le 21 sept. 1832, mort à Paris le 5 janvier 1913, membre de l'Académie des sciences.

atmosphérique et de refouler le mercure. La quantité dont celui-ci a baissé nous servira à mesurer la force élastique de la vapeur ainsi formée.

Or l'expérience montre que cette tension varie avec les différents liquides introduits, et qu'elle varie aussi, pour un même liquide, avec la température. Plus celle-ci s'élève, plus le mercure s'affaisse, à condition toutefois qu'il reste dans l'espace vide un excès de liquide capable de se vaporiser à mesure. Le mercure baisse jusqu'à n'atteindre plus que le niveau de la cuvette, par conséquent jusqu'au moment où la tension intérieure fait équilibre à la pression atmosphérique. Ce moment sera celui où l'eau, si c'est de l'eau qui est en expérience, atteindra 100°, l'acide acétique 120°, l'alcool 78° 5, l'éther 35°, c'est-à-dire à la température d'ébullition du liquide. Ainsi donc, la température d'ébullition d'un liquide sous la pression atmosphérique est celle où sa tension de vapeur est justement égale à 1 atmosphère.

Mais la température d'ébullition n'est pas celle de vaporisation : une distance énorme les sépare. Chacun sait en effet que l'eau bouillante reste à 100° jusqu'à évaporation complète, et que l'on aura beau la chauffer, à la pression normale s'entend, elle ne dépassera jamais 100°. C'est que pour passer simplement de l'état liquide (à 100°) à l'état gazeux (à 100° également) l'eau absorbe 537 calories par kilogramme, c'est-à-dire cinq fois et demie plus de chaleur qu'il n'en faut pour transformer de la glace en eau bouillante. Il suit de là qu'à l'air libre un corps revêtira l'état gazeux dès que la température sera supérieure à son point d'ébullition, et donc aussi que pour liquéfier un gaz quelconque, il faudra pouvoir abaisser la température jusqu'à ce point, la pression restant la même.

Nous voyons dès lors clairement que deux facteurs concourent à ce changement d'état des corps : la température d'une part, la pression de l'autre. Quand la pression diminuera, le point d'ébullition s'abaissera d'autant. C'est pourquoi l'eau bout bien au-dessous de 100° au sommet des montagnes et pourquoi aussi, dans le vide, on arriverait à la faire bouillir tout près de 0°, résultat réellement paradoxal ! On aperçoit d'ici l'un des moyens de produire des froids considérables : c'est d'employer le vide pour amener l'évaporation des liquides. Par contre, en augmentant la pression on élève la température d'ébullition : c'est pourquoi dans les chaudières à vapeur, où la pression est assez élevée, l'eau ne bout qu'aux environs de 200° ou plus encore. Conséquence de ceci : la pression permettant de relever la température d'un liquide bien au-delà de son point normal, on peut espérer amener un gaz donné, avec des pressions suffisantes, à la température de l'air ambiant, au point où ces conditions seront suffisantes pour provoquer sa liquéfaction.

L'expérience montre en outre que la liquéfaction d'une vapeur s'accomplit d'autant plus aisément, sous une pression d'autant moindre, que la température est plus basse. Pour arriver à la liquéfaction des gaz, il y aura donc à combiner la température et la pression. Liquéfier un gaz, c'est lui faire parcourir les étapes inverses de celles que nous avons reconnues pour l'ébullition et la vaporisation. Il suit de là que la chaleur considérable empruntée par le liquide bouillant pour sa transformation en vapeur, va être restituée au milieu et abandonnée par cette vapeur quand elle retournera à l'état liquide. Cette chaleur mise en liberté est utilisée dans le chauffage à la vapeur et dans l'extraction de l'oxygène de l'air.

De même que le froid et la pression combinés peuvent amener la liquéfaction, de même on peut les employer séparément. C'est ainsi qu'à la pression normale on peut obtenir la liquéfaction des gaz, à condition de pouvoir abaisser suffisamment la température ; et inversement, pour la plupart des gaz, on peut arriver à la liquéfaction, sans modifier la température, par l'augmentation de la pression. Ce dernier cas est celui de l'acide carbonique, ou plus exactement c'est à moitié son cas. A la pression de notre atmosphère en effet il suffit d'abaisser la température de l'acide carbonique jusqu'à —79° pour lui faire quitter l'état gazeux. Mais ce degré thermique étant inférieur à son point de congélation (—56°), on obtient non pas un liquide, mais une neige, que l'on peut transformer en liquide en portant la pression à 5 atmosphères.

Néanmoins il existe un degré de température au-dessus duquel, quelque pression que l'on emploie, il serait impossible d'obtenir la liquéfaction. C'est ce que l'on nomme le point critique. Ainsi Andrews, en expérimentant sur l'acide carbonique, dut constater qu'au-dessus de 31°, aucune pression n'est capable de mener ce gaz à liquéfaction. A 30° l'acide carbonique se montrait totalement liquéfiable ; à 31° 1, il ne l'était absolument plus. A cette température critique, les liquido-gaz ont la surprenante propriété de passer de l'état gazeux à l'état liquide sans changement de volume, en conservant la même densité. De ces derniers faits, il suit que nous rencontrerons deux sortes de gaz : les uns dont la température critique est supérieure à celle de notre atmosphère, et qui par suite se trouvent normalement au-dessous de leur température critique : il sera donc relativement facile de les liquéfier simplement par la pression. Tels sont l'acide carbonique, l'acétylène, le chlore, etc. Les autres sont caractérisés par une température critique inférieure à celle de notre atmosphère : ils sont donc normalement au-dessus de leur température critique, et, conséquence inévitable, impossibles à liquéfier par la seule pression ; la liquéfaction ne sera possible qu'après les avoir ramenés au-dessous de leur température critique. C'est le cas de l'oxygène, de l'azote et de l'hydrogène, qui possèdent des températures critiques extrêmement basses, de —118°, —146° et —242° respectivement. Aussitôt qu'ils ont atteint leur point critique, il suffit d'une pression relativement faible (50 atmosphères pour l'oxygène, 33 pour l'azote et 15 pour l'hydrogène) pour obtenir la liquéfaction de ces

gaz, et dès lors, en abaissant encore la température, on pourra encore réduire la pression.

Cette nécessité des basses températures, parfois si énormes qu'elles se rapprochent, comme pour l'hydrogène, du zéro absolu (—273°), explique les insuccès de la physique tant qu'elle se contenta d'employer les hautes pressions. Avec le chiffre prodigieux de 2.800 atmosphères, par exemple, Natterer en 1854 n'avait pu venir à bout des gaz réputés depuis permanents. Il fallait attendre les travaux d'Andrews commencés en 1863 pour arriver à cette notion capitale du point critique.

Mais il restait encore une difficulté, et non des moindres : obtenir des températures suffisamment basses pour réduire à leur point critique les gaz de l'atmosphère. Cette difficulté sembla vaincue le jour où, dans les expériences de M. Cailletet, un robinet tourné par mégarde fit entrevoir au grand expérimentateur la possibilité d'obtenir de très basses températures par la brusque détente des gaz comprimés. La compression en effet élève la température des gaz, de l'air par exemple. Tout le monde sait que l'air est échauffé par la simple pompe de bicyclette au moment du gonflement d'un pneu. La chaleur ainsi développée résulte de la transformation du travail mécanique fourni pour opérer la compression. La conséquence inévitable sera donc que réciproquement, dans la détente brusque, le gaz comprimé devra dépenser une certaine énergie employée précisément à cette expansion. Cette énergie, où la prendra-t-il ? Sur sa propre température : il transformera de la chaleur en énergie et le travail effectué par la détente correspondra à la quantité de froid produite. Il s'agit naturellement du travail fourni par le gaz lui-même et non transmis par une force extérieure.

Or il est différents moyens d'obtenir une détente brusque comme celle dont il s'agit. On peut d'abord comprimer fortement le gaz à liquéfier, qui, dans le cas particulier, est l'air atmosphérique, puis, par l'ouverture d'un robinet, lui fournir une issue dans un milieu de pression très inférieure. Pour l'usage industriel, il faut que cet écoulement soit continu, sinon l'appareil serait éminemment peu pratique. Mais alors naîtra une difficulté : l'air rendra trop peu, faute d'un obstacle à vaincre dans son expansion. Un second procédé consistera précisément à lui fournir cet obstacle par le moyen d'un petit moteur à air comprimé dans lequel sera dirigé le jet du robinet. Aussitôt le froid produit est extrême et l'appareil se couvre de givre. Mais une nouvelle difficulté va se découvrir bientôt : ou bien les pressions employées seront énormes et par suite très coûteuses et très dangereuses, ou bien elles seront faibles et ne parviendront pas à abaisser le degré thermique jusqu'au point voulu. Il s'offre cependant un ingénieux moyen découvert dès 1857 par Siemens, et qui consiste à faire circuler l'air à refroidir dans un tube entouré par de l'air déjà refroidi. La température baissera progressivement et atteindra des degrés très bas... jusqu'à arrêt complet de la machine par la congélation des impuretés de l'air et surtout des huiles et autres matières de graissage. Tous les corps mélangés à l'air, eau, acide carbonique, etc., et toutes les matières lubrifiantes, revêtant l'état solide, s'opposeront à la manœuvre d'un simple robinet, paralyseront tout le mécanisme. Ainsi, dans le domaine industriel, sort-on d'une difficulté pour tomber dans une autre.

La question se pose donc ainsi : existe-t-il quelque liquide lubrifiant qui, à la température de l'air liquide, résiste à la congélation ? Un seul : l'éther de pétrole [1]. C'est un liquide extrait du pétrole, dont on a retiré, par des congélations successives et par une véritable distillation à la température de —190°, tous les produits dont le point de fusion est supérieur à ce degré. Le liquide ainsi obtenu est incongelable. C'est lui que G. Claude a imaginé d'employer dans le graissage de ses appareils. Il l'a fait avec un plein succès.

Production de l'air liquide. — Si l'on a suivi patiemment les explications précédentes, on sera à même de comprendre le fonctionnement des appareils employés actuellement dans la production de l'air liquide.

Le plus simple est l'appareil Hampson, mais ce n'est encore, à cause de sa faible production, qu'un appareil de laboratoire. L'air est comprimé à 200 atmosphères et débarrassé de son eau et de son acide carbonique en passant sur de la potasse en morceaux. Un très long tube de cuivre de quelques millimètres de diamètre, autour duquel circule l'air déjà refroidi, aboutit au robinet de détente. Là, l'air comprimé est détendu jusqu'au voisinage de la température atmosphérique. De ce fait, il perd une cinquantaine de degrés, ce qui est encore bien peu, comparé au chemin qui reste à parcourir. Cet air, en circulant, comme nous l'avons dit, autour du nouvel arrivant, le refroidit à son tour. La température de détente baisse rapidement et au bout de dix minutes atteint les —193° nécessaires à la liquéfaction : l'air s'écoule sous sa forme liquide dans un récipient spécial. On ne peut rien rêver de plus simple ! Mais on ne peut guère dépasser avec cet appareil une production de 1 litre par heure : c'est trop peu pour l'industrie.

Celle-ci emploie donc d'autres appareils plus puissants, ceux de Linde ou ceux de Claude.

L'appareil du Dr Carl Linde opère, comme le précédent, sur de l'air comprimé à 200 atmosphères. Celui-ci est alors dépouillé de son humidité et de ses impuretés ; il circule dans un refroidisseur conforme aux principes de Siemens, puis est détendu à 40 atmosphères seulement. C'est là la caractéristique de l'appareil Linde. L'air est donc liquéfié à 40 atmosphères, puis recueilli à la pression normale. En passant de la première à la seconde, il s'est refroidi violemment par suite de la vaporisation d'une partie de lui-même. Ces vapeurs très froides ne sont d'ailleurs pas perdues :

[1] On l'appelle aussi gazoline, etc., dans le commerce. Ce sont en somme les essences légères employées dans l'automobilisme.

elles servent à la réfrigération de l'air comprimé d'arrivée, ainsi que des vapeurs d'ammoniaque provenant d'une machine frigorifique spéciale. De grands appareils de Linde produisent à l'heure 50 litres et plus d'air liquide.

Georges Claude enfin accomplissait un immense et décisif progrès en utilisant la détente de l'air comprimé dans un simple moteur, en employant au graissage l'éther de pétrole, en imaginant la « détente compound » grâce à laquelle l'air n'est que partiellement détendu avant d'aller provoquer, dans un premier cylindre, la liquéfaction de l'air comprimé du circuit, pour de là, légèrement réchauffé, être soumis à une seconde détente dans des conditions bien préférables.

Séparation de l'oxygène et de l'azote. — L'air n'est pas un gaz simple puisqu'il contient, entre bien d'autres éléments, de l'oxygène et de l'azote. Mais ce n'est pas non plus une combinaison, comme l'eau en est une d'oxygène et d'hydrogène. C'est un simple mélange, une solution gazeuse dont les éléments, par suite, exigent, pour se séparer, une énergie beaucoup plus restreinte. De tels mélanges, constitués par des éléments dont l'aptitude à la liquéfaction varie notablement, sont soumis à un certain nombre de lois particulières qui vont nous permettre précisément d'arriver à la séparation aussi simple que possible de l'oxygène et de l'azote.

Tout d'abord ils offrent une zone critique de température au-dessus de laquelle toute liquéfaction partielle ou totale est impossible ; dans la zone critique, une partie seulement peut être liquéfiée ; et, au-dessous de cette zone seulement, il est possible, par des pressions appropriées, de liquéfier la totalité du mélange. Mais, dans ce dernier cas lui-même, la composition du liquide obtenu n'est pas constante d'un bout à l'autre de l'opération, pas plus que n'est constante la pression nécessaire. Il y a au contraire dans la composition du liquide une variation continue, l'élément le plus liquéfiable se condensant d'abord de préférence, quoique non exclusivement, et le moins liquéfiable se condensant surtout à la fin. Il y a donc, correspondant à chaque degré d'abaissement de la température, une certaine teneur du gaz et une certaine teneur du liquide. Si bien que de l'air liquide contenant plus d'azote par exemple que ne le voudrait sa température, condensera une partie de l'oxygène gazeux et dégagera plus d'azote. C'est ce qui donne la clef de l'expérience véritablement stupéfiante que voici. Si l'on plonge dans de l'air liquide l'extrémité d'un tube en communication avec une source d'oxygène pur, les bulles qui sortent du tube arrivent à la surface de l'air liquide transformées en azote, ou du moins si chargées d'azote qu'elles éteignent l'allumette placée à leur point de dégagement. Inversement, de l'azote pur mis ainsi en liberté dans de l'oxygène liquide ne donne plus, à la surface, que des bulles d'oxygène !

De toutes ces constatations si diverses, il a fallu tenir compte dans les études qui ont conduit les expérimentateurs à la séparation de l'air en ses éléments. Pour répondre aux exigences de l'industrie, on a dû chercher le moyen d'obtenir de l'azote et de l'oxygène purs et l'on y est arrivé par distillation. L'oxygène liquide se rectifie par des procédés assez analogues à ceux employés dans la fabrication de l'alcool. « Le principe qui régit cette rectification, dit M. Georges Claude, consiste à faire passer les vapeurs *riches* en oxygène résultant de l'évaporation de l'air liquide à travers les liquides pauvres obtenus par la liquéfaction concomitante, de manière à condenser contre de l'azote l'oxygène de ces vapeurs au lieu de le laisser perdre [1]. » C'est, on le voit, l'application des expériences précédentes.

Il existe pour cela différentes espèces d'appareils. Dans un premier appareil Linde on arrive à recueillir les 2/3 de l'oxygène de l'air et la production peut atteindre jusqu'à 50 mètres cubes d'oxygène pur à l'heure. Mais ce dispositif ne fournit pas d'azote pur. Un progrès considérable a été ici encore réalisé par l'appareil G. Claude qui, recevant l'air comprimé à 5 atmosphères, laisse sortir l'oxygène pur dans sa totalité et d'autre part l'azote pur dans sa totalité. Dans ces dernières années enfin les brevets se sont multipliés, Linde a perfectionné son appareil, les procédés se sont encore perfectionnés et enchevêtrés les uns dans les autres. Au total actuellement la séparation de l'air en ses éléments s'obtient par la liquéfaction anticipée de l'oxygène, sa rectification et le lavage final des produits rectifiés par des liquides riches en azote.

En 1909, au moment où Claude écrivait son livre, voilà quels étaient les résultats obtenus. Depuis cette date des progrès ont sans doute été encore accomplis, mais ils appartiennent moins au domaine scientifique qu'à celui de l'industrie. La plus forte usine à oxygène du système de Linde se trouvait à Aubervilliers et fournissait 50 mètres cubes à l'heure ; l'appareil le plus puissant du même système pour la production de l'azote pur fonctionnait en Norvège, à l'usine de cyanamide d'Odda, et produisait 375 mètres cubes de ce gaz à l'heure. Quant aux appareils Claude, exploités par une puissante société, ils se trouvaient dès lors installés dans de nombreuses usines en France et à l'étranger et leur inventeur se déclarait en mesure de fournir « des appareils de 1000 mètres cubes à l'heure et de l'oxygène à deux centimes le mètre cube [2]. »

§ 2. — *Propriétés de l'air liquide*

Propriétés physiques. — La couleur de l'air liquide sortant de l'appareil de fabrication, surtout quand l'air a été imparfaitement purifié, est opalescente et presque laiteuse. Il demande donc à être filtré. Comment procéder avec ce liquide paradoxal dont la température s'établit aux environs de 193°,5 au-dessous de zéro ?... Tout simplement

[1] *Op. cit.*, p. 356. Le mot souligné manque dans le texte, mais il nous paraît imposé par le sens.
[2] *Ibid.*, p. 394.

comme pour les filtrages ordinaires, si l'on veut. Tout cela paraît déjà fort étrange. Mais il semble, quand on a à faire à l'air liquide, que l'on entre en plein dans le domaine du paradoxe. Tout est déconcertant de ce qui le concerne, tout ou peu s'en faut. Sur un filtre de papier plissé on verse donc l'air liquide comme on verserait de l'eau ou quelque préparation pharmaceutique. Il passe avec rapidité et l'on obtient un liquide d'une parfaite limpidité, mais d'autant plus nettement teinté de bleu qu'il renfermera plus d'oxygène. L'oxygène liquide en effet est d'un bleu magnifique qui n'est autre que l'azur du ciel.

A la pression atmosphérique l'air liquide n'a pas une très grande difficulté, comme on le croirait, à rester liquide et l'on aurait bien fort de s'imaginer qu'un corps obtenu par des moyens si artificiels et si violents, aussitôt livré à lui-même, s'empresse de reprendre son ancien état. Evidemment il s'évapore, il s'évapore comme le fait de l'eau bouillante, mais ne se transforme pas instantanément en air gazeux. Voilà encore qui semble fortement paradoxal et qui pourtant s'explique à la réflexion. En effet, si au-dessus de —140°, température critique de l'air, aucune pression n'est capable de le faire changer d'état, au-dessous de cette température de fortes pressions, 40 atmosphères d'abord, puis, à mesure que le degré s'abaisse, des pressions de plus en plus faibles suffiront à sa liquéfaction. Si bien qu'à un moment la pression atmosphérique suffira et c'est quand la température se sera abaissée jusqu'à —193°,5. Par suite il n'y aura pas besoin de fortes pressions pour conserver le liquide obtenu, qui se trouve avec l'air environnant dans les mêmes rapports que l'eau bouillante avec la chaleur qui la fait bouillir. L'eau bouillante reste à 100° quelle que puisse être l'intensité du chauffage employé ; de même l'air liquide reste à 193° au-dessous de zéro, utilisant toute la chaleur absorbée à passer à l'état gazeux. Cela s'explique, comme disent les physiciens qui croient qu'une loi est une explication, par ce que nous avons dit de la chaleur de vaporisation. Pourtant ces —193°,5 ne sont vrais que de l'air liquide normal, contenant 21 % d'oxygène. Mais, dans l'évaporation, l'azote subit une déperdition plus rapide, le liquide restant s'enrichit par suite en oxygène et la température se relève jusqu'au point d'ébullition de l'oxygène pur, soit —182°,5.

La densité de l'air liquide est à peu près celle de l'eau [1]. Si donc on verse dans un verre d'eau une petite quantité d'air liquide, celui-ci subit à ce contact si chaud pour lui une violente ébullition, forme des globules liquides qui d'abord surnagent à la surface et qui s'enfoncent ensuite de plus en plus dans l'eau, tout en continuant leur ébullition violente. Nous pouvons nous expliquer maintenant toutes les phases du phénomène : l'azote s'est évaporé plus rapidement, les globules se sont trouvés de plus en plus oxygénés, c'est-à-dire d'une densité supérieure à celle de l'eau. Mais pourtant il reste dans l'esprit un étonnement légitime : quoi ! ce contact de l'eau avec des températures si prodigieusement au-dessous de la sienne ne l'ont pas instantanément transformée en glaçon ? Mais non ! Et, si l'on se reporte aux notions précédentes sur la chaleur de vaporisation, on comprendra très vite pourquoi : la chaleur de vaporisation emmagasinée par l'air pour passer de l'état liquide à l'état gazeux n'est guère que de 50 calories par kilogramme, quand celle de l'eau est de 537. Par suite, en s'évaporant, un kilogramme d'air liquide produit beaucoup moins de chaleur qu'un kilogramme de glace simplement en fondant. Aussi ne songe-t-on pas à employer l'air liquide au lieu de glace pour frapper des boissons ou ralentir des fermentations. « Se servir d'air liquide au lieu de glace en ces circonstances serait exactement aussi déraisonnable, déclare G. Claude, que d'aller chercher de l'eau à 190 mètres de profondeur, ayant celle d'un puits de 10 mètres ou même celle d'une source à sa disposition [1]. » Par contre, c'est à l'air liquide qu'il sera indiqué de recourir lorsqu'on voudra un froid rigoureusement exempt d'humidité, comme dans la conservation et le transport des denrées par frigorifique.

En raison de sa température, l'air liquide produit sur les êtres vivants et les tissus organiques des effets dont quelques-uns du moins sont faciles à prévoir. Plongés dans l'air liquide, les tissus sont désorganisés et durcis. Des fruits comme les cerises ou les grains de raisin rebondissent alors comme des billes de verre ; le liège, la viande, la laine, le feutre, les fleurs deviennent friables et prêts à se laisser pulvériser. Mais, par contre, les microbes, chose incroyable, ne se sentent pour la plupart nullement incommodés d'un séjour prolongé dans l'air liquide. Et même alternativement et à plusieurs reprises portés à la température de 193° au-dessous de zéro puis de 50° au-dessus, ils résistèrent victorieusement. L'explication d'un fait aussi étrange semble à M. d'Arsonval résider dans l'énormité de pression à laquelle serait soumis l'intérieur des cellules microbiennes et grâce à laquelle leur eau ne pourrait se congeler même à ces températures prodigieusement basses. — Autre sujet d'étonnement : un jet d'air liquide est reçu sur le dos de la main sans inconvénient ; on y plonge le doigt, on reçoit dans la bouche le faisceau de particules liquides projeté par l'immersion dans l'éprouvette d'un tube de caoutchouc, sans douleur ni lésion aucune. M. G. Claude cite même le cas d'une infortunée victime à qui l'on fit avaler, par plaisanterie, une gorgée d'air liquide et qui « se sentit tout à coup gonfler comme une outre et dut se dégonfler d'urgence par tous les moyens à sa disposition. » Mais il ne faudrait pas trop prolonger l'expérience : quelques secondes de trop, et le doigt plongé dans l'air liquide serait entièrement transformé en un glaçon de chair, inerte et friable. Com-

[1] La densité de l'azote liquide à la pression atmosphérique est de 0,880 et celle de l'oxygène 1,120.

[1] *Air liquide, oxygène, azote*, p. 228.

ment expliquer tout cela ? Assez facilement en somme : par la caléfaction. On appelle ainsi le phénomène par lequel une goutte d'eau, projetée sur une plaque très chaude, n'adhère pas à celle-ci mais se promène à sa surface en laissant un certain intervalle comblé par une couche de vapeurs dégagées par elle. De même ici, au contact du doigt ou de la main, l'air liquide vaporise abondamment et le froid ne devient dangereux qu'au moment où le contact finit par s'établir.

Si intense en effet est le froid du liquide qu'une bille de métal qui y a été refroidie, portée ensuite dans la flamme transparente d'un bec Bunsen, s'y couvre d'une épaisse couche de givre, que tous les liquides s'y solidifient à l'exception des éthers de pétrole, que le mercure s'y prend en bloc, que l'alcool s'y transforme en une masse cristalline, qu'un tube de caoutchouc qu'on y plonge devient rigide comme un métal, que la tôle devient cassante et se brise d'un coup de marteau. On a constaté d'autres modifications encore dans la cohésion des métaux, dont les molécules se trouvent resserrées par l'action du froid : le plomb y devient sonore et élastique, si bien qu'un ressort à boudin de plomb résiste comme un ressort d'acier au sortir du liquide, pour céder bientôt après dans les parties réchauffées par exemple en soufflant dessus. La résistance à la rupture des fils métalliques est augmentée provisoirement dans une mesure considérable par le même procédé.

Les gaz subissent naturellement l'action de l'air liquide, tout comme les métaux. A sa température la plupart sont solidifiés ou du moins liquéfiés. Par une distillation fractionnée on peut ainsi extraire successivement les gaz rares de l'atmosphère, argon, néon, xénon, krypton, hélium, tous corps longtemps énigmatiques et encore aujourd'hui fertiles en problèmes. L'hydrogène pourtant résiste, sa température de liquéfaction étant encore inférieure à celle de l'air liquide et beaucoup plus rapprochée des —273° du zéro absolu. Elle atteint en effet le chiffre prodigieux de 242° au-dessous de zéro, et cette propriété a été le point de départ d'une intéressante application industrielle pour obtenir l'hydrogène pur. Non content de congeler liquides et gaz, l'air liquide est capable, selon la pittoresque expression de M. G. Claude, de se geler lui-même. Dans un tube à essai ou même dans une bouteille de métal, voici en effet ce qui se produit. La paroi extérieure présente deux aspects différents : au-dessous du niveau du liquide, elle se couvre d'air liquéfié qui ruisselle sur les parois ; au-dessus de ce même niveau, elle se couvre de givre qui n'est autre que de l'air solidifié dû à la congélation de l'azote (—213°).

Non moins étonnante est la propriété conférée au charbon de bois par les basses températures de l'air liquide : de la braise de boulanger bien calcinée y devient capable d'absorber les gaz de l'air[1] à tel point qu'elle peut être utilisée pour produire les vides les plus élevés, jusqu'à ce chiffre fantastique d'un dix-millionième d'atmosphère.

[1] A l'exception de l'hélium.

Propriétés chimiques. — Les propriétés chimiques de l'air liquide tiennent aux éléments dont il se compose. Ceux-ci sont inégalement volatils et, dans l'évaporation, c'est l'azote qui s'échappe le plus rapidement, laissant dans le récipient un résidu de plus en plus riche en oxygène et finalement composé d'oxygène pur. Une expérience très simple met le fait en évidence. Une allumette tenue au-dessus du récipient s'éteint d'abord, étouffée par l'azote ; plus tard elle se rallumerait et brûlerait avec éclat au contact de l'oxygène. Pourtant il ne faudrait pas compter sur cette simple évaporation pour séparer l'oxygène des autres éléments, car la plus grande partie s'en perdrait au cours de l'opération.

Ce sont les propriétés de l'oxygène liquide qui sont les plus intéressantes à connaître, puisque, de tous les éléments de l'air, c'est celui qui a reçu les plus nombreuses applications, ou mieux puisque c'est surtout à son obtention que l'on s'attache. L'une des propriétés capitales de l'oxygène liquide est d'activer puissamment les combustions. Une allumette qui n'a plus qu'un point en ignition, non seulement se rallume aux vapeurs de l'oxygène, mais si on la plonge dans le liquide, loin de s'éteindre au contact de ces basses températures, elle brûle avec un éclat éblouissant qui se colore d'un magnifique bleu violacé s'il reste encore un peu de soufre non consumé. Plus le volume de l'objet qui brûle dans l'oxygène liquide est considérable, plus la flamme acquiert d'intensité lumineuse. Le fer et l'acier y brûlent violemment. A plus forte raison le magnésium, qui y acquiert une intensité lumineuse à ce point considérable que la plaque photographique n'est plus impressionnée. C'est à cette propriété d'activer considérablement les combustions que l'oxygène liquide doit la plus grande partie de ses applications industrielles.

Les combustions y sont même tellement vives que bien vite elles deviennent des déflagrations et des explosions. Du coton imbibé d'oxygène liquide produit déjà une véritable déflagration. Un bouchon ou un morceau de charbon, à plus forte raison un morceau d'acier, par exemple une plume métallique[1], plongés allumés dans l'oxygène liquide deviennent déjà dangereux pour l'expérimentation. Le danger s'accroît encore quand un morceau de phosphore enflammé est projeté dans l'oxygène. Des mélanges d'oxygène liquide et d'alcool ou de pétrole ont produit de très graves accidents qui mirent les expérimentateurs à l'hôpital. M. G. Claude raconte comment, pour avoir versé de l'air liquide riche en oxygène sur de l'alcool trop près de la flamme, il reçut au visage une poussière de débris de verre qui s'incrustèrent dans les chairs, et comment aussi, en 1903, une

[1] M. G. Claude suspend la plume d'acier à un fil métallique, fixe aux becs de la plume un fragment de soufre qu'il allume et plonge le tout dans l'oxygène liquide.

bougie allumée tombée dans un seau d'oxygène liquide, le mit dans un état encore plus fâcheux. Du charbon de bois pulvérisé, du coton, de la laine imbibés d'oxygène liquide, à l'air libre, déflagrent simplement, mais en vase clos ils produisent une formidable explosion. Cet explosif coûte beaucoup moins cher que la dynamite et tend à la remplacer : le tunnel du Simplon a été en grande partie percé par ce moyen. Il n'a que l'inconvénient de produire de trop grandes quantités d'oxyde de carbone, quand l'évaporation de l'oxygène a duré trop longtemps.

Enfin l'oxygène liquide est très facile à transformer en ozone, et sous cette forme il est susceptible encore d'applications nombreuses.

Au total, toutes les propriétés physiques ou chimiques de l'air liquide nous entraînent sans cesse d'un extrême à l'autre. « C'est une de ses caractéristiques, comme le dit très heureusement M. G. Claude, et non des moins intéressantes, de nous permettre d'évoluer au gré de notre désir dans les régions les plus variées, les plus opposées, du domaine des sciences physiques. Nous savons, par exemple, avec quelle facilité l'air liquide permet de réaliser, grâce au charbon de bois, les vides les plus extrêmes ; mais si nous laissons cet air liquide se vaporiser en vase clos, nous y développerons, au contraire, des pressions énormes, pouvant atteindre 800 atmosphères. D'un autre côté, l'air liquide fournit directement ces températures extraordinaires de — 200° dont nous avons appris à apprécier les effets ; mais si nous provoquons des combustions à son aide, c'est jusqu'aux hauteurs de l'arc électrique qu'il faut nous élever dans l'échelle des températures ; et si, au lieu d'activer les combustions, nous prétendons les paralyser, l'azote nous permettra avec la même facilité de satisfaire notre fantaisie [1]. »

Conservation de l'air liquide. — Un liquide si particulier doit naturellement exiger des précautions spéciales pour sa conservation. Il ne s'évapore pas sans doute en un clin d'œil, comme on aurait pu croire, mais pourtant il ne faut pas oublier que tous les corps qui le touchent sont à 200° pour le moins au-dessus de sa température et ne peuvent que produire sur lui l'effet d'une fournaise. Aussi ce liquide calme, tranquille dans son éprouvette, va-t-il se mettre à bouillir violemment dès qu'on y projettera un corps quelconque, fût-ce un morceau de glace. Plus la chaleur extérieure arrivera abondamment à l'air liquide, plus son évaporation sera rapide. Inversement, si l'on veut arrêter cette évaporation, il faut trouver le moyen de barrer la route à cette chaleur ambiante.

On a résolu le problème difficile qui se posait ainsi, en imaginant des réservoirs à doubles enveloppes de verre séparées par un espace vide. On réduit ainsi le plus possible la conductibilité du verre, c'est-à-dire cette propriété grâce à laquelle les corps se transmettent de molécule à molécule la chaleur puisée à un foyer quel qu'il soit. Une cuiller d'argent plongée par l'extrémité dans du potage bouillant élève sa température sur toute sa longueur : tel est l'effet de la conductibilité. Il est ici supprimé pour une très large part par la présence de la double enveloppe. Comme on a fait de plus le vide dans l'espace qui les sépare, on a supprimé également le phénomène de convection grâce auquel un gaz transporte la chaleur par un mouvement de perpétuel aller et retour entre la source de chaleur et les corps plus froids qui l'entourent. Dès 1887, M. d'Arsonval imaginait ces vases à double enveloppe pour la conservation du chlorure de méthyle employé en chirurgie. C'est donc avec justice que M. G. Claude proteste contre le nom de vases de Dewar qu'on leur attribue parfois, alors que Dewar, célèbre physicien anglais contemporain, n'a fait que les perfectionner. Il a voulu en effet réduire encore le rayonnement qui, pénétrant jusqu'à l'air liquide, vient dans les vases à double enveloppe ordinaire activer malgré tout la vaporisation. Utilisant donc ce fait que les surfaces blanches et brillantes laissent passer beaucoup moins de chaleur que les surfaces sombres (ainsi les vêtements blancs sont moins chauds que les vêtements noirs) et que les surfaces mates, Dewar fit argenter les parois internes de l'espace vide réservé entre les doubles vases et c'est ainsi que sont conçus les récipients actuellement employés pour l'air liquide.

Ce principe est, on le sait, celui que l'on applique dans la fabrication des bouteilles *thermos*, dans lesquelles les boissons, chaudes ou froides, conservent très longtemps la température à laquelle on les y a enfermées. De même, dans un de ces récipients à air liquide on pourrait, en le fermant cette fois, conserver pendant plusieurs jours du café très chaud : le passage de la chaleur est en effet intercepté aussi bien dans le sens de l'intérieur à l'extérieur que dans le sens inverse. L'air liquide lui ne peut se conserver en vase clos. La chaleur y atteindrait assez vite —140° et aussitôt toute la masse d'air liquide, atteignant sa température critique, développerait une pression formidable, l'air atmosphérique étant 800 fois moins dense que l'air liquéfié. Ainsi donc, il est impossible d'enfermer l'air liquide dans des bouteilles en acier, comme on le fait pour l'acide carbonique ou pour l'oxygène gazeux. Une fois liquéfiés, on ne peut ainsi garder que les gaz dont le point critique est supérieur à la température ambiante ; les autres, et ceux de l'air y sont compris, ne supportent pareille captivité qu'à l'état gazeux.

Ainsi donc l'air liquide, l'oxygène, l'azote, l'hydrogène liquides se conservent à l'air libre, et, malgré tous les perfectionnements apportés aux récipients de d'Arsonval, se conservent... de huit à quinze jours, pas beaucoup plus. Alors le vase est à sec. Cette durée si précaire de l'air liquide est une des raisons de son prix élevé. Il en est d'autres. D'abord les vases à vide intermédiaire jusqu'à ces derniers temps ne se fabriquaient pas

[1] *Air liquide, oxygène, azote*, p. 271.

en France; il fallait les faire venir de l'étranger. Puis, à un certain point de leur surface, leur fragilité est considérable au contact du liquide : c'est sur la ligne de contact et de soudure des deux vases concentriques, c'est-à-dire en somme sur les bords. Coûtant de 30 à 40 francs pièce, d'après les chiffres donnés par M. Claude, on comprend que leur perte doive se porter en compte ; or elle n'est pas très rare. Enfin, et pour toutes ces raisons réunies, l'air liquide est très difficile à manipuler, à emmagasiner, à transporter. Tout cela nous explique qu'un corps aussi commun et inépuisable que l'air atmosphérique, dès qu'il est liquéfié, atteigne des prix élevés, plus de 5 fr. le litre.

§ 3. — *Applications de l'air liquide*

Le champ des applications de l'air liquide est pour ainsi dire illimité, à condition pourtant, quand nous disons l'air liquide, qu'on ne prenne pas l'expression au pied de la lettre et que l'on comprenne bien qu'il s'agit de l'air réduit en ses éléments. Car pour l'air liquide brut, il n'a que très peu d'applications lui-même.

L'air liquide brut. — Ces applications sont, la plupart, des opérations de laboratoire qui jusqu'ici n'ont pas ou ne semblent pas avoir de portée industrielle. C'est ainsi que par le moyen de l'air liquéfié on a pu découvrir de nouveaux gaz rares de l'atmosphère. Sir W. Ramsay, avec ses collaborateurs Collie, Travers, etc., purent isoler, en 1898, par distillation fractionnée, de l'air liquide et aux derniers termes de cette distillation le *krypton* et le *xénon*. Cette distillation semblerait avoir épuisé les éléments de l'air, puisque cent tonnes d'air, soumises à la même opération, n'ont pas laissé d'autre résidu. Nos connaissances sur les éléments peu volatils de l'air sembleraient ainsi fixées. On a pu solidifier krypton et xénon et étudier leurs propriétés physiques. Leurs spectres sont magnifiques et rappellent celui de l'aurore boréale. Surtout ces corps posent de nombreux problèmes à la science et vraisemblablement ils auront beaucoup servi à modifier les idées de la physique moderne sur la constitution de la matière.

Il en est de même des effets produits par l'air liquide sur les métaux, qui deviennent plus denses, cassants, comme la fonte, ou élastiques et sonores, comme le plomb. Ces faits et d'autres encore que nous avons signalés en passant, n'ont fait que confirmer les théories qui placent la « mort de la matière » au zéro absolu, c'est-à-dire à —273°. De même c'est à peu près exclusivement pour la science théorique que sont intéressantes les propriétés magnétiques très prononcées de l'air liquide, les phosphorescences produites par lui, l'insensibilisation déjà indiquée des plaques photographiques aux éclairages trop intensifs.

On a tenté d'utiliser l'air liquide en thérapeutique pour obtenir l'anesthésie locale. Mais il ne semble pas devoir jusqu'ici remplacer pour cet usage le chlorure d'éthyle ni le chlorure de méthyle. Comme producteur de glace, nous avons vu qu'il est beaucoup moins économique que la machine à glace ordinaire.

Il ne reste guère que deux applications industrielles pour lesquelles il semble qu'on puisse recourir à l'air liquide. — Ce serait d'abord la production économique de l'hydrogène tant pour l'éclairage que pour l'aérostation. On se souvient en effet que l'air liquide produit par sa température extrêmement basse la liquéfaction de tous les gaz, à l'exception de l'hydrogène. Si donc on fait passer dans un serpentin plongé dans l'air liquide du gaz d'éclairage ou, plus économiquement, le simple gaz à l'eau produit si facilement dans l'industrie, tous les éléments autres que l'hydrogène seront liquéfiés ou solidifiés dans le parcours, et celui-ci sortira pur de l'appareil. On a construit des appareils vraiment pratiques donnant ainsi environ 10 mètres cubes d'hydrogène à l'heure.

L'usage de l'air liquide comme explosif serait une seconde utilisation pratique importante. On sait qu'à la température critique se produit la vaporisation totale. Conséquemment un récipient rempli d'air liquide et fermé, si on le laisse à la température ordinaire, doit fatalement exploser. Voici comment on a utilisé cette propriété. Des cartouches formées d'une douille cylindrique en bronze épais sont fermées par un couvercle en alliage mou serti dans la douille. Au fond de la cartouche est ménagée une soupape qui permet l'accès de l'air liquide. On met d'abord en place la cartouche soigneusement bourrée, puis on y introduit par un petit tube métallique l'air liquide à travers le bourrage. Sept à huit minutes suffisent pour la vaporisation totale : à ce moment le couvercle mou cède et l'énorme pression de gaz suffit à faire éclater les roches les plus dures. Des expériences bien conduites à Cardiff ont montré qu'un seul coup de mine peut abattre trente tonnes de charbon très compact. Les avantages de cet explosif sont très grands : la douille peut servir à plusieurs opérations successives ; il n'y a aucun raté, aucun danger d'incendie ; aucun gaz délétère n'est répandu dans la mine, puisqu'au contraire elle s'enrichit d'air respirable ; la cupide régie n'a jusqu'ici rien à voir à cet explosif. Un seul inconvénient : c'est la difficulté de calculer la charge suivant l'effet à produire.

L'azote. — L'un des éléments que les plantes recherchent dans le sol avec le plus d'avidité, c'est l'azote. A l'exception des légumineuses qui jouissent du privilège de puiser également cet azote dans l'air, grâce au concours de certaines bactéries vivant en symbiose avec elles, c'est uniquement par leurs racines que les plantes puisent ce corps indispensable à leur croissance. Par suite, le sol s'épuise vite et l'apport d'engrais azotés devient nécessaire. C'est de ce côté que se rencontre donc l'emploi industriel de l'azote. On déploie depuis quelque dix ans une activité fébrile dans la fabrication des engrais azotés, en prenant cet azote à l'air atmosphérique. Parmi tous les procédés

employés, le plus important est la transformation de l'azote en cyanamide de calcium ou chaux azotée, et cette industrie prend tous les jours une plus grande envergure. Il est clair que l'azote à bon marché, ce sera par là-même les engrais à bon marché, et l'agriculture y gagnera des sommes que l'on peut chiffrer par millions sinon par milliards, puisque dès aujourd'hui l'industrie naissante des engrais chimiques dépasse le chiffre de 500 millions dans ses transactions annuelles.

L'oxygène. — Mais on peut dire que c'est, avant tout, l'oxygène que l'on poursuit passionnément entre tous les éléments de l'air liquide, tant sont nombreuses ses applications actuelles et plus nombreuses encore celles que l'on prévoit et que l'on peut ambitionner pour lui. Nous rangerons ces différentes applications sous les chefs suivants : métallurgie, éclairage, industrie frigorifique, industries chimiques, thérapeutique et hygiène.

1° *En métallurgie.* — L'oxygène pur obtenu par distillation de l'air liquide peut fournir, comme on sait, des températures extrêmement élevées. C'est ce qui l'a fait employer par les métallurgistes.

D'après les températures que l'on a pu réaliser pratiquement, la métallurgie peut se diviser en trois grandes périodes : la période du charbon de bois, la période du coke, la période du four électrique. Avec l'air liquide et l'oxygène pur s'ouvre une période nouvelle dans laquelle va triompher de nouveau le coke. Avec le charbon de bois employé dans l'antiquité, par les Romains et Gallo-Romains, durant tout le moyen âge et jusqu'au XVIIe siècle, on ne dépassait guère pratiquement 1000°. C'est pourquoi les métaux dont le point de fusion est sensiblement plus élevé n'étaient alors que très imparfaitement traités. Le fer en particulier, qui exige près de 1500°, laissait des scories dont les énormes amas titrent encore aujourd'hui jusqu'à 45 centièmes de métal. Avec le coke dont l'usage ne se répandit qu'à la fin du XVIIIe siècle, les températures réellement produites atteignirent 1300°. Ce fut un grand progrès dans l'industrie du fer et de l'acier et c'est ce qui permit l'emploi des procédés Bessemer, Thomas et Martin. Enfin vers 1890 le four électrique permit de porter la température jusqu'à 2.000° et 2.500° : on obtenait dès lors la fusion du platine, de l'iridium et l'ébullition des métaux usuels, dont le cuivre (2310°) et le fer (2450°). Mais on conçoit que le four électrique ne permettait pas le traitement des grandes masses.

Avec l'oxygène pur on obtient pratiquement les mêmes températures et applicables cette fois aux grandes masses. Pourquoi le coke jusqu'ici ne donnait-il pas des températures plus élevées ? C'est que l'azote contenu dans l'air à la proportion de 79 pour 21 unités d'oxygène, diluait celui-ci et emportait une quantité considérable de chaleur inutilisée. Si l'on injecte donc de l'oxygène pur, au lieu d'air ordinaire, sous la grille close d'un four Thomas ou Martin, on obtiendra des températures beaucoup plus élevées. C'est ce que l'on est en train d'expérimenter aux usines d'Ougrée-Marihaye, en Belgique. Trois appareils Claude permettent d'y obtenir 200 mètres cubes d'oxygène à l'heure, au prix très bas de 20 francs la tonne. Une difficulté cependant était à vaincre : il fallait que l'air liquéfié fût parfaitement desséché au préalable. M. G. Claude l'a tournée en ajoutant à l'air traité une faible quantité d'alcool qui entraîne toute la vapeur à l'état liquide. Des souffleries envoient l'oxygène au sein des lits de fusion des hauts fourneaux où l'on obtient ainsi, avec des frais peu élevés, des combustions extrêmement actives et même des réactions chimiques complexes et encore mal connues. Les conséquences de cette révolution métallurgique sont incontestablement considérables et il n'est pas possible, à l'heure actuelle, de les prévoir toutes.

Pour le traitement des métaux eux-mêmes, l'oxygène pur rend des services non moins importants. Projeté dans un chalumeau approprié, avec de l'hydrogène, du gaz d'éclairage, de l'acétylène, du pétrole gazéifié, il fournit des températures si élevées qu'elles sont devenues tout aussitôt indispensables dans l'industrie métallurgique tout entière. C'est ainsi particulièrement que l'on obtient la soudure autogène et que l'on procède au découpage des grosses masses métalliques. Le chalumeau oxy-acétylénique est aujourd'hui d'un usage courant pour souder des métaux autrefois rebelles à tout traitement de ce genre. Non seulement le fer et l'acier, mais l'aluminium, mais le cuivre, mais la fonte peuvent aujourd'hui être soudés par la soudure autogène qui, portant leurs particules au point de fusion, les unit en un tout parfaitement homogène. Ainsi est supprimé le rivetage ; ainsi peut être fabriquée d'une seule pièce toute une charpente, toute la coque d'un navire ; ainsi peuvent se réparer facilement les fentes qui se produisent dans un appareil métallique quelconque et qui le mettraient hors d'usage.

Dans le découpage des métaux, à l'aide d'un chalumeau spécial on porte au rouge blanc la ligne à découper, puis on applique sur elle un jet d'oxygène pur. Il se produit une réaction violente grâce à laquelle la masse métallique est traversée de part en part, eût-elle 30 centimètres d'épaisseur. C'est ainsi que l'on découpe les plaques de blindage, et le procédé peut s'appliquer également au découpage des rails. Or la soudure autogène et le découpage au chalumeau et à l'oxygène pur sont plus économiques que tous les autres procédés employés jusque-là, que les scies électriques en particulier.

2° *Dans l'éclairage.* — Un mélange d'oxygène et de gaz d'éclairage confère à celui-ci des propriétés éclairantes considérables. Les oxy-gaz en effet fournissent une lumière très pure et très brillante, plus économique de moitié que l'éclairage par incandescence. Ce ne serait pas leur seul avantage, puisque l'asphyxie serait probablement rendue impossible par la présence de l'oxygène.

3° *Dans les industries chimiques.* — C'est tout un monde encore inexploré en grande partie que l'utilisation de l'oxygène dans les industries chi-

miques. On peut l'utiliser dans la manutention des minerais, pour les séparer par l'effet d'une simple différence de densité en les fondant dans leur gangue. L'emploi de l'oxygène pur facilite et simplifie singulièrement la fabrication de l'acide sulfurique, de l'acide sulfureux, de l'acide carbonique, de l'acide formique, sans compter l'ozone dont nous avons déjà parlé et dont nous aurons à parler encore. Dans la fabrication des pierres précieuses, on est également arrivé à de beaux résultats par l'emploi des hautes températures fournies par l'oxygène pur. Par le chalumeau oxy-acétylénique ou aux oxy-gaz on est arrivé à créer artificiellement de vrais rubis, de vrais saphirs, de vraies émeraudes : vrais, c'est-à-dire possédant le même indice de réfraction, le même clivage, la même chaleur spécifique, en un mot tous les caractères distinctifs des pierres véritables.

4° *Dans l'industrie frigorifique.* — Si le froid fourni par l'air liquide coûte trop cher et est peu pratique dans l'industrie frigorifique, une récente découverte permet d'entrevoir néanmoins l'application à cette industrie de l'oxygène pur, par un heureux et singulier détour. Au début de 1911, l'éminent chimiste anglais dont il a été déjà question au cours de ce travail, sir J. Dewar, fit connaître au *Royal Institute* de Londres qu'il avait franchi une nouvelle et merveilleuse étape : il avait solidifié l'oxygène ! En utilisant ingénieusement la détente et l'évaporation, il a pu transformer le liquide bleu d'azur en cristaux d'oxygène pur. A quoi servira ce nouveau corps et comment l'utilisera-t-on ? Il est difficile de le dire. Mais pourtant on peut prévoir que le jour viendra où il pourra être utilisé dans la production du froid industriel, cet auxiliaire si précieux de l'agriculture, de l'alimentation et de l'industrie.

5° *En thérapeutique et en hygiène.* — En médecine, l'oxygène peut s'employer sous forme gazeuse, sous forme d'eau oxygénée ou sous forme d'ozone.

a) Gaz des combustions et purificateur par excellence, l'oxygène pur rend les plus grands services sous forme d'inhalations dans tous les cas de respiration pénible ou de circulation insuffisante ou d'auto-intoxication. Dans l'asthme et la broncho-pneumonie, l'oxygène aspiré dans l'inhalateur supplée à l'insuffisance respiratoire. Dans l'anémie et la scrofule, il enrichit le sang en oxy-hémoglobine et aide à rejeter les principes délétères dont il peut être chargé.

b) L'eau oxygénée est une eau contenant en dissolution de 10 à 20 volumes d'oxygène. A l'état pur, elle peut arrêter l'hémorragie causée par une plaie et produit en même temps l'antisepsie. On l'emploie même, mélangée d'eau en proportions variables, en injections antiseptiques et, très diluée (1 à 2 cuillerées à soupe par litre d'eau), pour l'antisepsie intestinale et comme antivomitif. L'eau oxygénée est un antiseptique très puissant en même temps qu'économique. Mais elle ne peut s'employer en pansement permanent pour diverses raisons, dont la principale est qu'elle empêcherait la cicatrisation en détruisant les cellules qui se reforment à la surface de la plaie. L'eau oxygénée arrête la putréfaction et la suppuration dans les abcès et les phlegmons. Elle est d'un emploi incomparable dans les plaies mâchées, dans les plaies où se forment des escarres, ces masses noirâtres de chair mortifiée et corrompue.

c) Aux basses températures, nous avons vu l'oxygène gazeux et l'oxygène liquide se transformer très facilement en ozone, par l'effluve électrique. C'est un liquide bleu indigo foncé, facilement explosible, capable d'affinités violentes et sans doute aussi de multiples applications. L'une de celles qui sont acquises à l'heure actuelle est la stérilisation de l'eau. Celle-ci doit être claire, soit naturellement, soit à la suite du filtrage. On peut d'ailleurs procéder sur de grandes quantités. L'ozone n'étant autre chose qu'un état particulier de l'oxygène, en somme de l'oxygène condensé, n'ajoute à l'eau aucun élément malsain, bien au contraire, puisque l'eau se trouve aérée énergiquement par apport d'oxygène. Mais surtout l'ozone détruit parfaitement tous les microbes pathogènes que les eaux peuvent contenir. De toutes les manières de stériliser les eaux celle-ci est donc incontestablement la plus séduisante.

Telles sont les principales applications, à l'heure actuelle, de l'air liquide et de ses éléments. Mais on peut être à bon droit persuadé que ce n'est là qu'un début et que le champ de ces applications est destiné à s'élargir sans cesse. Y a-t-il une leçon à tirer pour nous de tout cet exposé ? Il y en a même beaucoup, mais l'une des plus frappantes est bien celle que nous avons vue proclamer par M. G. Claude : *La théorie a toujours raison.* Si la pratique ne la vérifie pas, c'est que la théorie est mal employée. Appliquons-la mieux : nous la verrons se vérifier point par point. Conclusion féconde, vraie dans plus d'un sens et qui ne doit pas demeurer à l'usage des seuls savants.

LITURGIE

Q. — 1° Comment célébrer à présent les différentes sortes de solennités transférées ?

2° Nous avons comme patron du diocèse S. Jean-Baptiste qui, comme tel, a toujours été célébré dans toutes les paroisses et doit continuer à l'être suivant le décret du 6 déc. 1912. Que faire alors quand la solennité coïncidera *avec la fête* de S. Pierre et de S. Paul, ou bien quand la solennité de S. Jean sera en occurrence *avec la solennité* des Saints Apôtres ?

3° Pour que les messes basses de *Requiem* soient permises, un jour double, dans l'église où il y a *funus cum missa exequiali*, il faut que le corps du défunt soit *physice vel moraliter præsens*. Si le corps du défunt n'est transporté à l'église qu'au moment des funérailles, dans le courant de la matinée, peut-on le considérer comme *moraliter præsens* dès le matin et dire des messes *de die obitus* dans cette église, avant la levée du corps ?

4° Dans les églises où l'on fait l'exposition des Quarante-Heures conformément au décret du St-Office du

22 janvier 1914, y a-t-il obligation de faire, comme l'exige l'Instruction Clémentine, la commémoraison du St-Sacrement, soit aux messes basses, soit aux messes chantées qui se célèbrent, le St-Sacrement exposé, tant à l'autel de l'exposition qu'à un autre autel ?

R. — Ad I. Les solennités renvoyées au dimanche en vertu du Concordat de 1802 continueront, comme par le passé, à se célébrer conformément aux règles tracées par le cardinal Caprara et mises au point dans le décret du 2 décembre 1891, n. 3754.

Pour la solennité des fêtes précédemment attachées au dimanche comme en leur siège propre, telles que les fêtes de S. Joseph et de la B. Jeanne d'Arc, etc., on se conformera au décret du 28 octobre 1913, § 1, n. 2, et l'on dira la messe comme à l'incidence, en souvenir de son ancien siège ; mais on y ajoutera l'oraison de l'office du jour, et toute autre mémoire que comporterait la fête si elle tombait ce jour-là.

Ad II. La solution du cas se trouve en principe dans un décret de 1899 pour Laval. On demandait ce qu'il y avait à faire lorsque une solennité transférée se rencontrait le dimanche avec une fête de 1re classe ayant elle-même sa solennité propre. Et Rome répondit : — La solennité renvoyée au dimanche aura la préférence, si elle est plus digne que la fête occurrente, quand même celle-ci aurait droit à une solennité particulière ; mais si la solennité transférée est moins digne, on donnera la préférence à la fête ayant sa solennité propre, et l'autre solennité est reportée au dimanche suivant. (S. R. C., 20 juin 1899, n. 4040).

Appliquant le principe à la solennité transférée de S. Jean-Baptiste, patron du diocèse, lorsqu'elle coïncidera avec la fête de S. Pierre et S. Paul, vous préférerez la solennité de S. Jean-Baptiste comme plus digne.

Ad III. Dans l'hypothèse des funérailles devant avoir lieu ce jour-là, à l'heure convenable, *præsente corpore*, on pourra toute la matinée dire à l'église des messes basses *de die obitus*, et considérer pour cela le corps comme moralement présent.

Ad IV. Quand on célébrera les Quarante-Heures (et c'est le cas presque partout en France) en se conformant simplement au décret du St-Office du 22 janvier 1914, *on pourra* faire la mémoire du St-Sacrement exposé aux différentes messes qui se diront à l'église ces jours-là (S. R. C., 7 mai 1746, n. 2390, ad 4 et 5) ; mais cette mémoire ne *sera obligatoire* qu'à la messe d'exposition, s'il y en a une. (S. R. C., 18 mai 1883, n. 3574, ad V).

Q. — Lorsque la rubrique ordonne de réciter les prières *flexis genibus*, doit-on se lever au *Dominus vobiscum* qui précède l'oraison, ou rester à genoux même pendant l'oraison (ou les oraisons, s'il y a des commémoraisons) ? J'ai en vue l'office choral.

R. — A l'office de chœur, les prières fériales se disant à genoux, l'hebdomadier se lève seul pour dire *Dominus vobiscum* et l'oraison ; les autres restent à genoux, « etiam in commemorationibus sanctorum simplicium et in orationibus suffragiorum, » pour ne se lever qu'à *Benedicamus Domino*. (S. R. C., 4 mars 1902, n. 4089, ad II).

Q. — Le samedi, nous avons un double. A vêpres nous récitons les antiennes et les psaumes du Psautier ; à partir du capitule nous faisons l'office du dimanche suivant, semi-double. Devons-nous doubler les antiennes ?

R. — C'est une erreur de croire que l'office du dimanche ne commence qu'au Capitule le samedi. Tous les dimanches en concurrence avec des doubles mineurs et même majeurs ont les Vêpres entières, avec les antiennes et les psaumes du samedi. En Avent cependant, ce sont les antiennes de Laudes qu'on dit avec les Psaumes du samedi. (Nouv. rubriques, Tit. V, n. 1 et 2).

Aussi, les Vêpres appartenant au dimanche qui est semidouble, on ne doit pas doubler les antiennes. C'est pourquoi, aux Vêpres du samedi, le Psautier n'en donne que les premiers mots avant chaque psaume, tandis que les autres jours, où l'on peut avoir des offices doubles, il donne les antiennes entières avant les psaumes.

Q. — D'après la bulle *Divino afflatu*, en Carême, les messes basses pour les défunts ou messes privées de *Requiem* peuvent être seulement célébrées une fois par semaine, le 1er jour libre dans l'Ordo. Ainsi le 23 mars, *de ea*, on peut dire une messe de *Requiem* ; le 24, *de ea*, on ne peut pas. Mais là où les curés chantent un service pour les défunts de leur paroisse les lundis de Carême, dans ce cas le 1er jour libre pour eux sera-t-il reporté au 24, *de ea* ?

Dans une réunion, j'ai soutenu qu'ils devaient dire la messe de la férie le 24, parce que le 1er jour libre dans notre Ordo langrois était le 23, et non le 24 mars. Tous mes confrères ont prétendu que le 24 on pouvait dire une messe basse de *Requiem*, parce que dans notre diocèse les lundis de Carême étaient privilégiés, à cause des services qu'on nous permet de chanter. Qui a raison ?

R. — C'est vous qui avez raison contre vos confrères. Il n'y a que le premier jour libre *dans le calendrier de l'église* où l'on célèbre que l'on peut dire une messe privée de *Requiem* chaque semaine de Carême : « prima die cujuscumque hebdomadæ libera *in Kalendario ecclesiæ* in qua missa celebratur. » (Tit. X, n. 2). Or quel est le 1er jour libre dans votre calendrier ? C'est bien le lundi, et les prêtres étrangers célébrant ce jour-là chez vous diraient avec raison une messe basse de *Requiem*. Il importe peu que vous, de votre côté, vous ayez un service chanté ce jour-là ; le 23 n'en est pas moins le 1er jour libre *du calendrier*, et passé ce jour, vous n'avez plus le droit de dire une messe basse de *Requiem*.

Q. — Quelle antienne doit-on réciter aux Petites Heures les jours de fête *tempore Quadragesimæ* ?

V. g., aujourd'hui mercredi 4 mars, fête de S. Casimir, semid. : à Prime doit-on réciter l'antienne *Advenerunt nobis* du temps de la Quadragésime ?

R. — Les jours de fêtes qui se célèbrent en Carême, en Avent, au Temps de la Passion, on dit aux Petites Heures l'antienne assignée *per annum*,

c'est-à-dire, à Prime, le lundi *Innocens manibus,* le mardi *Deus meus,* le mercredi *Misericordia tua,* etc. C'est ce que déclare expressément la rubrique placée le lundi en tête de Prime : « Antiphonæ tam per annum quam tempore paschali, in hac et aliis feriis ad Primam, Tertiam, Sextam et Nonam appositæ, dicuntur semper... in festis sive trium sive novem lectionum, quando juxta rubricas sumendi sint psalmi de feria », puis continuant, elle ajoute : « Atque antiphonæ per annum assignatæ adhibentur etiam in festis quæ tempore Adventus, Quadragesimæ ac Passionis celebrantur. » On ne peut rien de plus clair.

Les antiennes propres au Temps de Carême se disent donc aux Petites Heures à l'office férial, mais jamais aux fêtes.

Q. — 1° Quel jour devra être célébrée désormais la fête de la B. Jeanne d'Arc ?

2° Un prêtre qui habite une paroisse dont l'église est consacrée, sera-t-il tenu à réciter l'office de l'anniversaire de la Dédicace de cette église, alors qu'il dit chaque matin la messe dans la chapelle d'un hospice et ne va à l'église paroissiale que lorsque sa santé et ses affaires le lui permettent ?

3° Doit-on faire l'office de la Dédicace de la cathédrale, si elle n'a jamais été consacrée ?

4° Les féries du Temps pascal n'ont que deux répons, à cause de la récitation du *Te Deum.* Où faudra-t-il prendre le 3e répons qui manque, lorsqu'on récitera l'office d'un saint et que les leçons *de Scriptura occurrente* du 1er Nocturne devront être suivies des répons du temps ?

R. — Ad I. On fera désormais la fête (2e cl.) de la B. Jeanne d'Arc le 30 mai, mais sa solennité externe reste attachée au dimanche dans l'Octave de l'Ascension. (Cf. *Ami,* p. 422).

Ad II. Si vous n'êtes pas lié à l'église du lieu *par un titre canonique,* vous n'avez pas à faire au Bréviaire l'office de sa Dédicace, mais à vous conformer seulement à l'Ordo diocésain.

Ad III. Evidemment, si la cathédrale n'a jamais été consacrée, il n'y a pas à faire l'office de son anniversaire. Mais vous n'avez pas à vous inquiéter à ce sujet ; l'Ordo règlera ce point et vous n'aurez qu'à le suivre, puisque cet office est de précepte pour tous les prêtres du diocèse.

Ad IV. Le décret du 28 octobre 1913, § III, ad 1, annonçait que les répons des féries au Temps pascal seraient réorganisés. La chose est faite dans le livret des *Variationes* dont nous avons parlé naguère, p. 322. Il faut vous le procurer, ou acheter un nouveau Bréviaire qui contiendra ces changements.

Q. — Le prêtre chantant la messe doit-il nécessairement être le même que celui qui fait la bénédiction des cierges, des cendres, ou des rameaux, et qui donne l'absoute aux enterrements ?

La question a été récemment controversée entre ecclésiastiques.

R. — Les bénédictions des cierges, des cendres et des rameaux, sauf indult apostolique, doivent être faites par l'officiant qui dit la messe ; il peut même y être obligé sous peine de censure : « Cogi posse etiam per censuras, ut qui benedicit cineres, palmas et candelas, prosequatur etiam Missam. » (S. R. C., 22 mars 1653, n. 946). Rome n'admet point comme excuse une coutume même immémoriale et universellement suivie à l'encontre du droit rappelé ci-dessus, et tient celle-ci pour illégitime et à supprimer (S. R. C., 1er septembre 1838, n. 2783, ad 2), quand même il s'agirait d'un évêque titulaire ou administrateur. (S. R. C., 23 sept. 1848, n. 2976, ad 8 ; 9 mai 1893, n. 3798, ad II). Seul, l'Ordinaire du lieu peut déléguer à sa place un autre prêtre pour dire la messe qui suit ces bénédictions. *(Ibid.).*

L'absoute elle-même, qui suit les messes de *Requiem* dont elle est comme le complément, ne peut être donnée, sauf indult, que par le célébrant. (S. R. C., 12 août 1854, n. 3029, ad 10). Seul, l'Evêque diocésain, à l'exclusion des évêques titulaires ne jouissant d'aucune juridiction, a le droit de donner l'absoute sans avoir dit la messe pour le défunt. (S. R. C., 9 mai 1893, n. 3798, ad II ; etc.).

Q. — Aumônier d'un orphelinat, je porte tous les deux jours, avant la messe de communauté, la sainte communion à une religieuse infirme, dont la chambre est au 1er étage. Comme l'escalier est assez rude, les religieuses me préparent une petite custode, format boîtier de montre. J'y mets la sainte hostie destinée à la malade, puis l'enferme dans une bourse que je suspends au cou ; ce qui facilite la marche. Mon ministère rempli, je lui donne la bénédiction commune avec la main et retourne directement à la sacristie.

Mais le Rituel portant qu'il doit toujours rester une hostie (sauf dans le cas d'un chemin trop long ou trop difficile) pour bénir l'infirme avant de le quitter, je demande :

a) Dois-je prendre au départ deux hosties dans la petite custode pour bénir la malade avec celle qui restera ?

b) Me faut-il renoncer à l'usage de cette custode et prendre le ciboire pour donner cette bénédiction ?

c) Y a-t-il faute, et quelle faute, à conserver l'actuelle manière de faire ?

R. — C'est à M. l'aumônier de voir et de juger si vraiment l'escalier conduisant à la chambre de l'infirme est trop difficile à suivre avec le ciboire et rentre bien dans le « difficilius iter obeundum » du Rituel, Tit. IV, ch. IV, n. 10. Si oui, il peut continuer à faire comme par le passé ; si non, il doit prendre le ciboire avec au moins deux hosties et se conformer au cérémonial ordinaire tracé par le Rituel. En agissant autrement, à supposer même qu'il portât la custode *manifeste* et *honorifice,* il commettrait une faute vénielle. Mais si, sans motifs graves, *etsi desint gravia motiva quæ ita fieri suadeant,* il portait la communion à cette religieuse *secreto, sine ullo exterioris cultus signo,* ce serait un abus absolument intolérable. (S. R. C., 6 fév. 1875, n. 3337).

Q. — 1° Est-il permis, en portant la sainte Communion à un malade dans un hôpital, de la donner en même temps dans la salle du malade à une personne présente *et non malade,* v. g. à une religieuse ?

2° Dans la cérémonie du mariage, la jeune mariée, après avoir reçu avec la formule usitée l'alliance de

son époux, peut-elle lui remettre à son tour un anneau à lui destiné, *en prononçant la formule :* « Mon époux, je vous donne cet anneau en signe du mariage que nous venons de contracter ensemble » ?

3° Ne va-t-on pas à l'encontre des lois liturgiques en chantant le 1er Nocturne avec les leçons la veille de la Commémoraison des Morts pour se contenter de chanter uniquement la messe au jour susdit ?

R. — Ad I. En soi, une personne qui n'est pas infirme ne peut communier au domicile d'un malade à qui l'on porte le Bon Dieu. (Cf. *Ami* 1913, p. 976).

Ad II. La bénédiction de deux anneaux étant permise pour la cérémonie du mariage, comme l'enseigne l'Index officiel des décrets, p. 21, il ne semble pas répréhensible que la jeune épousée, ayant reçu l'alliance de son époux, lui donne à son tour le second anneau, en signe de réciproque fidélité.

Ad III. Il est parfaitement permis d'anticiper la veille les Matines de la Commémoraison des Morts et de ne réserver que la messe pour le lendemain. (S. R. C., 9 juillet 1895, n. 3864, ad 1).

Q. — La Toussaint tombant l'année dernière un samedi, d'après notre Ordo j'ai renvoyé au dimanche les vêpres des morts, l'absoute et la procession d'usage au cimetière.

Parmi mes confrères, les uns ont chanté les vêpres des morts, donné l'absoute et fait la procession, le jour même de la Toussaint ; les autres ont simplement, ce jour-là, donné l'absoute et fait la procession.

J'ai été critiqué pour ne pas avoir fait comme les autres. Qui était dans le vrai ?

R. — C'est vous, et vous seul, qui avez bien agi [1]. L'Ordo, en ordonnant les choses comme vous le rappelez, s'est conformé de tout point à la rubrique placée aux 2es vêpres de la Toussaint ; et eût-il été même plus probable que l'Ordo se trompait, la présomption étant en sa faveur, on ne devait pas s'en écarter. (S. R. C., 13 juin 1899, n. 4031, ad V).

Q. — 1° Quand la fête de S. Jean de Canti n'a ni 1res ni 2es Vêpres, que doit indiquer l'Ordo relativement aux trois hymnes du bréviaire ?

2° Dans le décret qui règle la réforme des calendriers diocésains, il est dit que le *Patronus loci* de la ville épiscopale fait partie des saints propres du diocèse. Cependant, chez nous, *N.-D. de la Miséricorde* qui est la Patronne du lieu qu'habite l'évêque, est réservée pour la Ville et non pour le diocèse. Votre avis, s'il vous plaît ?

3° Dans mon doyenné il y a, en haut d'une montagne, une chapelle dédiée à *S. Elisée* dont la fête est célébrée le 29 août. Par une anomalie que je ne m'explique pas, la messe est de la Décollation de S. Jean-Baptiste, et l'on ne fait rien du titulaire S. Elisée. N'est-ce pas un abus à faire disparaître ? Si oui, quelle messe faut-il dire ?

R. — Ad I. Désormais, S. Jean de Canti aura aux deux Vêpres l'hymne *Gentis Polonæ,* et à Laudes *Te deprecante,* Matines gardant *Corpus domas.* Quand il n'aura ni 1res ni 2es Vêpres, on unira l'hymne des Vêpres à celle de Matines. (Rubr. gén. du Brév., Tit. XX, n. 3).

Ad II. Notre avis est que, dans le Propre diocésain que vous soumettrez à la Congrégation, vous signaliez Notre-Dame de la Miséricorde comme patronne de la ville épiscopale, et la coutume jusqu'ici en vigueur de ne pas en faire l'office dans le diocèse. La Congrégation tranchera alors la difficulté qui, en raison des décrets peu concordants, reste pendante. (Cf. De Herdt, t. II, n. 224).

Ad III. La chapelle n'ayant point de prêtre qui lui soit canoniquement attaché, on ne peut faire l'office de S. Elisée ; sa messe seule est permise, si on célèbre dans cette chapelle le jour de sa fête, et l'on prend la messe d'un confesseur non pontife. Toutefois, elle ne se dit pas le 29 août, car dans le Martyrologe, la fête de S. Elisée est fixée au 14 juin.

Q. — Désormais on ne peut plus dire le 2 nov. que la messe de la Commémoraison des fidèles défunts, et cependant deux Ordos de diocèses différents assignent ce jour-là à une paroisse la solennité de l'Adoration perpétuelle. Que faire ?

R. — Simplement ne pas tenir compte de cette assignation de l'Ordo. Ici, l'erreur est certaine ; elle a été commise par inadvertance ; il n'y a pas à faire l'adoration ce jour-là.

Q. — L'*Ami*, p. 155, dit qu'il ne connaît point d'indult permettant aux religieuses de purifier elles-mêmes les linges sacrés. Je suis heureux de lui en communiquer un de 1892, persuadé qu'il voudra le faire connaître à ses nombreux lecteurs.

R. — Nous sommes très reconnaissants de la bienveillante communication qui nous est faite, et nous l'insérons volontiers ici à titre de document officiel :

Très Saint Père,

La Mère Générale des Franciscaines missionnaires de Marie, humblement prosternée aux pieds de Votre Sainteté, implore pour toutes les Sœurs chargées de la sacristie dans les diverses maisons de l'Institut, la faculté de toucher les vases sacrés et de purifier les linges qui ont servi au saint sacrifice, parce que souvent, surtout en mission, on leur envoie du linge non purifié pour le laver et elles ne trouvent pas facilement des prêtres pour leur confier cette purification, quelquefois pressée quand le linge arrive de loin et qu'il doit repartir promptement.

Ex audientia SSmi habita die 26 Junii 1892.

SSmus Dominus Noster Leo divina Providentia P.P. XIII, referente me infrascripto S. Congregationis de Propaganda fide secretario, benigne indulsit ut religiosæ sorores memorati Instituti, sacrarii servitio addictæ, vasa sacra, sacrasque supellectiles tangere, nec non pallas, corporalia et purificatoria aqua tergere valeant juxta preces.

Datum Romæ ex ædibus dictæ S. Congregationis die et anno ut supra.

IGNATIUS, Archiep. Damiothen., *Secr.*

Q. — Est-il permis d'ajouter une ou plusieurs invocations à la récitation publique des litanies de la Sainte Vierge, pendant le mois d'octobre, ou à toute autre époque de l'année ? V. g., peut-on ajouter *Regina cleri ?*

R. — Rome a toujours protesté contre la récitation des Litanies qui n'étaient pas conformes à

[1] S. R. C., 9 juillet 1895, n. 3864, ad II.

l'exemplaire officiel. (S. R. C., 31 mars 1821, n. 2613, ad 7). Ainsi, l'évêque de Bobbio ayant demandé s'il pouvait y insérer l'invocation : « *Maria advocata nostra,* vel alium versum, » reçut une réponse négative (S. R. C., 3 août 1839, n. 2791, ad 3), et quand les Confrères du Carmel sollicitèrent la faveur d'y ajouter également une invocation *sub titulo Carmeli,* la Congrégation la refusa catégoriquement en disant : *Lectum.* (S. R. C., 17 juin 1890, n. 3733).

Q. — L'ancienne table d'autel de mon église a été employée par un de mes prédécesseurs comme marche d'escalier extérieur de l'église. Une pierre d'autel exécrée pouvait-elle être employée à cet usage ?

R. — Le droit canonique dit qu'il ne faut pas employer à des usages profanes les pierres et tables d'autel, quand elles ne peuvent plus servir pour le saint sacrifice de la messe. En raison de l'huile sainte dont elles ont été imprégnées lors de leur consécration, elles méritent d'être gardées dans un lieu décent, ou au moins d'être utilisées pour l'église *in usus non sordidos.* (Cf. Craisson, *Manuale juris canonici,* n. 4790).

L'emploi que votre prédécesseur a fait de l'ancienne table d'autel n'a donc pas été heureux ; mais *post factum* il vaut peut-être encore mieux laisser les choses en l'état, pour ne pas provoquer d'étonnement dans le peuple.

Q. — Quand à la grand'messe on chante après l'Elévation un *Adoro te, O Salutaris* ou tout autre motet en latin au St-Sacrement, le chœur doit-il être à genoux ou debout ?

R. — Aux grand'messes où l'on doit se lever après l'élévation du calice, le chœur n'a pas à s'agenouiller, s'il arrive qu'on chante après le *Benedictus* un *Adoro te,* un *O salutaris* ou tout autre motet latin se rapportant au Saint-Sacrement. Les cas où le chant exige que le chœur soit à genoux sont prévus par le droit, et il n'est question nulle part de l'*Adoro te,* de *O salutaris* requérant cette attitude. De plus, le décret qui autorise ces motets après l'élévation est muet sur le changement qu'ils pourraient apporter dans la tenue du chœur. (S. R. C., 22 mai 1894, n. 3827, ad III).

Q. — Est-il permis de se servir d'un surplis qui n'est qu'une dentelle faite au crochet du haut en bas, soit pour prêcher, soit pour distribuer la sainte Communion ?

R. — C'est une innovation tout à fait condamnable et à réprouver. On peut seulement orner le surplis d'une dentelle assez minime (S. R. C., 5 déc. 1868, n. 3191, ad V), et encore « nisi particulares diœcesanæ aut capitulares leges obstent. » (Cf. Van Der Stappen, t. III, n. 142).

Q. — 1° Une personne quelconque, tel qu'un sacristain ou une sacristine, peut-elle enlever la clé du tabernacle, oubliée par le prêtre sur la porte de ce tabernacle ?

2° N'y a-t-il pas faute pour un prêtre à laisser la clé du tabernacle sur la porte ou sur l'autel pendant plus de 24 heures ?

R. — Ad I. Non seulement c'est licite, mais on ne peut que louer sacristain ou sacristine qui mettent en lieu sûr la clef du tabernacle oubliée par le célébrant.

Ad II. Le prêtre serait très répréhensible s'il n'avait soin de bien fermer la porte du tabernacle et de bien serrer la clef avant de quitter l'église ; mais naturellement, lorsqu'il y a de sa part oubli involontaire, il est exempt de faute devant Dieu.

Q. — Comment un curé doit-il célébrer les obsèques d'un homme de 40 ans qui jamais n'a joui de l'usage de la raison ?

R. — Si vraiment cet adulte n'a jamais joui de l'usage de la raison, il a gardé par le fait l'innocence de son baptême, et le curé doit l'enterrer malgré ses 40 ans *more infantium.* Mais pour peu qu'il y ait doute si quelques moments lucides ne l'auraient pas rendu capable de pécher, il faudra au moins lui donner l'absolution sous condition ou l'extrême-onction, et lui faire ensuite des obsèques d'adulte pour ne pas priver des suffrages de l'Eglise cette chère âme qui peut en avoir besoin. (Cf. Bernard, *Cours abrégé de Liturgie,* t. II, p. 312).

Q. — 1° Quelles sont les formules et cérémonies pour la consécration des enfants à la Sainte Vierge après le baptême ?

2° La couleur liturgique pour le Sacré-Cœur, c'est le blanc. Pourquoi a-t-on l'habitude d'orner son autel en fleurs rouges ? Faut-il laisser faire ou réagir pour le blanc ?

3° Le verre de la lampe du sanctuaire peut-il être rouge ?

R. — Ad I. La consécration des nouveaux baptisés à la Sainte Vierge n'ayant rien de liturgique, vous avez toute latitude pour le choix de la formule et de la cérémonie.

Ad II. C'est bien le blanc qui est la couleur liturgique du Sacré-Cœur, si intimement lié à la Fête-Dieu par son objet, par la date de sa célébration et la similitude de son origine. (Cf. Gatterer, *Annus liturgicus,* p. 367). Mais comme ce divin Cœur est aussi le foyer et le symbole de l'amour qui s'est dévoué pour nous jusqu'à la mort et à la mort de la croix, on s'explique naturellement que certains pays aient pris l'habitude d'orner son autel avec des fleurs rouges, qui rappellent ainsi sa Passion ; ne les troublons pas dans leur pratique, qui est plutôt extra-liturgique que *contra.*

Ad III. Affaire de goût.

Q. — L'*Ami* (*02,* 943 ; *05,* 414 ; *06,* 382 ; *08,* 507) dit qu'il n'y a pas à bénir la fosse pour les enterrements des enfants. Or, ici, quand on refuse un enterrement religieux à un suicidé, on l'enterre quand même dans le cimetière ; de même les fœtus ; et comme il n'y a pas d'endroit réservé ni pour les uns ni pour les autres, il me semble que par ces faits le cimetière est pollué.

Dans ce cas du moins, ne dois-je pas bénir la fosse pour que l'enfant soit en terre bénite ?

R. — Contrairement à ce que vous pensez, le